

Diseño e Impresión de un Prototipo 3D del Nervio Trigémino: Una Perspectiva Anatómica

Design and Printing of a 3D Prototype of the Trigeminal Nerve: An Anatomical Perspective

Juan David Velasco-Ceballos¹; Sonia Osorio² & John Jaime-Lara³

VELASCO-CEBALLOS, J. D.; OSORIO, S. & JAIME-LARA, J. Diseño e impresión de un prototipo 3D del nervio trigémino: Una perspectiva anatómica. *Int. J. Morphol.*, 43(3):933-940, 2025.

RESUMEN: La comprensión sobre la anatomía de los nervios craneales es fundamental para los estudiantes del programa académico de odontología, especialmente el nervio trigémino es la base de la mayoría de los procedimientos clínicos que se realizan en este campo. Sin embargo, existen pocos modelos que muestren el recorrido de este par craneal y sus relaciones anatómicas de forma completa, de fácil entendimiento y sencilla adquisición. El objetivo de este trabajo consistió en desarrollar un modelo anatómico impreso en 3 dimensiones del nervio trigémino - V nervio craneal, en el cual sea observable el recorrido de este y sus respectivas relaciones con la porción ósea, además que brinde la posibilidad al estudiante de contrastar entre los ramos del nervio trigémino y el cráneo. La investigación se dividió en cuatro fases, en donde primero se realizó una etapa de empatización, aquí se sentaron las bases teórico-anatómicas del proyecto. Subsiguiente, se realizó la digitalización, conversión y, por último, materialización del prototipo anatómico. Se diseñó e imprimió un modelo 3D que representa la forma, ubicación y relación anatómica del nervio trigémino con el complejo craneofacial. El desarrollo del modelo de impresión en 3 dimensiones puede contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje del nervio trigémino, de su recorrido y relaciones con distintas regiones anatómicas.

PALABRAS CLAVE: Nervio Trigémino; Impresión Tridimensional; Modelos Anatómicos; Enseñanza; Aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

El nervio trigémino es el más grande entre los nervios craneales y tiene funciones tanto sensoriales como motoras. Su extenso alcance en la cabeza y el cuello lo hace vulnerable a muchas enfermedades y permite la propagación de condiciones inflamatorias y neoplásicas. Por eso, es crucial tener un conocimiento detallado de su anatomía (Bathla & Hegde, 2013).

Se compone de raíces que proporcionan funciones sensoriales y motoras a los músculos faciales y de la masticación. En el tronco encefálico, los núcleos del nervio trigémino se dividen en motor y sensorial. El núcleo sensorial se subdivide en tres partes: el núcleo principal, el núcleo espinal y el núcleo mesencefálico. El núcleo motor se localiza en la superficie lateral del segmento pontino, justo delante y medial al núcleo sensorial principal (Latarjet & Ruiz Liard, 2019). En la cavidad trigeminal (una prolongación en forma de dedo de la duramadre que rodea el ganglio y las divisiones del nervio trigémino), el ganglio trigeminal se separa en tres

nervios: el oftálmico (V1), el maxilar (V2) y el mandibular (V3). La raíz motora se encuentra justo debajo del ganglio en esta región. V1 es el nervio sensorial más pequeño, que inerva el bulbo ocular, la nariz, el cuero cabelludo y la frente. Viaja por el seno cavernoso, sale del cráneo por la fisura orbitaria superior y se divide en los nervios frontal, lagrimal y nasociliar en la órbita. V2 es un nervio sensorial que proporciona inervación a la maxila, el paladar, el labio superior y la mejilla. Se desplaza por debajo de V1, sale del cráneo por el foramen redondo y entra en la órbita por la fisura orbitaria inferior. V3, el nervio más grande, tiene funciones tanto motoras como sensoriales. Ofrece sensibilidad al tercio inferior de la cara, la lengua, el suelo de la cavidad oral y la mandíbula, y su raíz motora inerva los músculos masticadores, el milohioideo y el vientre anterior del músculo digástrico (Freddi *et al.*, 2022).

Se define la anatomía como “la ciencia que estudia la estructura y forma de los seres vivos y las relaciones entre

¹ Programa de Odontología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

² Departamento de Morfología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

³ Ingeniería Mecatrónica, Universidad Autónoma de Occidente y Universidad del Valle, Cali, Colombia.

las diversas partes que los constituyen” (Real Academia Española, 2024); es un medio de materialización que procura responder la inherente necesidad del ser humano de conocer su organización y distribución estructural interna y externa. Sin embargo, esta necesidad del ser humano por conocer plenamente su conformación estructural, era limitada ante la imposibilidad de ver estructuras profundas del cuerpo humano. Así entonces se empiezan a desarrollar herramientas fundamentales como: la disección anatómica, la imagenología, modelos anatómicos e impresiones 3D (Rosell Puig & Paneque Ramos, 2007).

Las disecciones cadavéricas, comunes en el estudio de la anatomía macroscópica, presentan varias dificultades que los modelos anatómicos en 3D han solucionado. Entre las limitaciones de la disección de cadáveres se incluyen el tiempo considerable que requiere, las variaciones anatómicas por cambios postmortem, y los altos costos de adquisición, embalsamamiento, almacenamiento y disposición de los cuerpos (Aziz *et al.*, 2002; McMenamin *et al.*, 2014; AbouHashem *et al.*, 2015). Además de esto, el cierto grado de deficiencia de la disección de cadáveres como método de enseñanza anatómica ha sido uno de los potenciadores para el desarrollo de las impresiones anatómicas en 3D. En la década de 1980, se gestó la técnica inaugural de impresión tridimensional conocida como estereolitografía, bajo la dirección de Charles Hull. En sus primeras etapas, este método se aplicó como un proceso eficiente para la creación rápida de prototipos, especialmente en campos industriales de gran relevancia como la industria aeroespacial y la automotriz (Jin *et al.*, 2021). La tecnología de impresión 3D se caracteriza como un procedimiento eficaz para la elaboración expedita de prototipos, generando directamente objetos tridimensionales a partir de datos, en un sistema informático. Su metodología básica implica la superposición en capas para la creación de objetos tridimensionales (Jin *et al.*, 2021). La relevancia de los modelos impresos en 3D radica en la capacidad para facilitar diagnósticos precisos y planificaciones preoperatorias en diversos ámbitos de la salud. Asimismo, se destaca su utilidad como recurso didáctico en la enseñanza de estructuras anatómicas de difícil visualización (Ávila *et al.*, 2018).

En el sector de la salud, las impresoras 3D se han empleado para crear dispositivos protésicos sofisticados, implantes para cirugías, guías para la planificación de intervenciones y modelos educativos. Los modelos impresos en 3D personalizados para cada paciente se han utilizado para planificar cirugías complejas y, a veces, han alterado significativamente los resultados (Cui *et al.*, 2014; Igami *et al.*, 2014; Zuniga *et al.*, 2015; Salazar *et al.*, 2020). A través de un estructurado cuestionario en donde se evaluó el

uso de la tecnología de impresión 3D en 5 hospitales universitarios en Finlandia, se evidenció que la mayoría de los usos se concentraron en el área de la cabeza y fueron reportados por diversas especialidades, como neurocirugía, cirugía cráneo-maxilofacial, otorrinolaringología y cirugía plástica. Las aplicaciones abarcaron la reparación de defectos y malformaciones en la bóveda craneal, oncología quirúrgica, traumatología y reconstrucción de paladar hendido. También se señaló un uso regular en el campo de la ortopedia (Pettersson *et al.*, 2020).

Es importante destacar que la impresión 3D no es la única metodología para el estudio anatómico, sino una herramienta que facilita la comprensión de las distintas regiones del cuerpo humano (Suárez-Escudero *et al.*, 2020). Esto se debe a las dificultades inherentes a los métodos tradicionales, como el análisis de imágenes 2D o el estudio de especímenes cadavéricos, que pueden resultar insuficientes para una comprensión completa. En particular, la literatura académica revela una carencia de modelos anatómicos específicos para el estudio del nervio trigémino, y el análisis en cadáveres diseccionados o con imágenes 2D a menudo resulta confuso y poco esclarecedor. En este contexto, el objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo detallado del nervio trigémino para facilitar su comprensión precisa, incluyendo su trayecto, ramas y su relación con el complejo craneofacial.

MATERIAL Y MÉTODO

Este trabajo forma parte del proyecto "Modelos 3D para la Enseñanza y Aprendizaje de la Anatomía Macroscópica Humana", aprobado por el Comité de Ética Humana con el código 016023. Para diseñar el modelo 3D, se utilizó una metodología adaptada del estudio "Modeling and Control of a Two Tank System Using Artificial Neural Networks", que constó de cuatro etapas: empatización, digitalización, conversión y materialización (Lara *et al.*, 2019).

Empatización

Se realizó inicialmente una exhaustiva revisión de la literatura para establecer las bases teóricas del trabajo y los parámetros de fabricación del modelo anatómico. Esta revisión se centró en la siguiente literatura académica: Anatomía Humana, 5ª edición (Latarjet & Ruiz Liard, 2019), Anatomía con Orientación Clínica, 8ª edición (Moore *et al.*, 2018), Netter - Anatomía de Cabeza y Cuello para Odontólogos, 3ª edición (Norton & Willett, 2024) y la Plataforma Biodigital Human (BioDigital, 2024) (Tabla I). Los conceptos teórico-anatómicos obtenidos fueron revisados y aprobados por diversos anatomistas de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Digitalización

Para la construcción del prototipo, se utilizó una tomografía computarizada Cone Beam (CBCT, por sus siglas en inglés) de un cráneo simple. La tomografía abarcaba desde la glabella hasta el margen inferior del mentón de un paciente sin alteraciones esqueléticas y fue anonimizada. Se eligió una imagen de alta calidad para facilitar la segmentación posterior. La CBCT se trabajó con las siguientes especificaciones: dimensiones de 640 x 640 x 650 vóxeles, resolución de 0,2500 x 0,2500 x 0,2500 mm y un tamaño de 160,00 x 160,00 x 136,00 mm.

Conversión

La primera etapa de la conversión se llevó a cabo en

el programa Blue Sky Plan (Blueskyplan, 2024). En esta fase, se añadieron e identificaron los distintos ramos del nervio trigémino, trabajando con un total de 38 nervios (Tabla II) y 4 ganglios: trigeminal, esfenopalatino, ótico y submandibular. Los nervios que el software identificó automáticamente fueron aquellos que recorrían un canal intraóseo, como el n. alveolar inferior y el n. infraorbitario. Los demás nervios se añadieron como estructuras tubulares. Para su identificación se examinó en la TC las indentaciones y rastros del recorrido del paquete neurovascular sobre el tejido duro (Fig. 1). Las estructuras tubulares diseñadas fueron texturizadas en un software de uso libre llamado Blender (Blender.org, 2024), para simular una morfología nerviosa más realista. Para realizar la adición de los nervios en el complejo craneofacial, se añadía secuencialmente puntos en las coordenadas de la tomografía, desplazándose

Tabla I. Comparación de textos sobre el origen, trayecto y ramos del nervio trigémino.

	Latarjet 5ª edición	Moore 8ª edición	Norton 3ª edición
Origen real	Origen real: Se distinguen 3 núcleos sensitivos provenientes del ganglio del trigémino Y un núcleo motor: el núcleo principal del nervio trigémino, el núcleo mesencéfalo, núcleo motor del nervio trigémino.	Existen cuatro núcleos trigeminales, un núcleo motor (núcleo motor del nervio trigémino) y tres sensitivos (núcleos mesencéfalicos, sensitivo principal y espinal del nervio trigémino).	Las fibras aferentes se inician en diferentes receptores de la piel y tejidos profundos de la cabeza. Las fibras eferentes se inician en el núcleo motor del nervio trigémino.
Origen aparente	El nervio se origina por dos raíces emanadas de la cara anterolateral del puente, en el punto en que esta se confunde con los pedúnculos cerebelosos medios. La raíz sensitiva es muy voluminosa y está situada lateral a la raíz motora, que es mucho más pequeña.	Emerge de la cara lateral del puente mediante una gran raíz sensitiva y una pequeña raíz motora	No se describe
Componentes	Sensitivo Motor	Sensitivo somático (general) y motor somático (branquial) para los derivados del primer arco faríngeo	Aferente somático general Eferente visceral general

Nota. Elaborado a partir de Latarjet & Ruiz Liard (2019). Moore *et al.* (2017) y Norton (2017).

Tabla II. Estructuras nerviosas trabajadas en el prototipo anatómico.

	N. oftálmico	N. maxilar	N. mandibular
Ramos Nerviosos	Recurrente Frontal Supraorbitario Supratroclear Nasociliar Etmoidal posterior Etmoidal anterior Nasal interno Nasal externo Infratroclear Lagrimar Comunicante cigomático	Meníngeo Para el ganglio pterigopalatino Esfenopalatino Cigomático Cigomaticofacial Cigomaticotemporal Faríngeo Palatino mayor Alveolares superiores Infraorbitario	Pterigoideo medial Tensor del velo del paladar Para el ganglio ótico Bucal Maseterino Temporales profundos Para el pterigoideo lateral Auriculotemporal Lingual Alveolar inferior Milohioideo Mentoniano Labiales

en tres cortes: axial, sagital y frontal, mientras se creaba la estructura tubular en el modelo del cráneo. Algunas de las ramificaciones del nervio trigémino no se asemejaron en el prototipo anatómico, debido a que la mayoría de su trayecto se desplegaba en estructuras blandas.

En Blue Sky Plan, el número de estructuras tubulares que se podían adicionar o identificar en la tomografía eran limitadas, 18 nervios. Por lo que fue necesario trabajar paralelamente y por secciones del nervio trigémino. Primero se exportó la ramificación del n. oftálmico, posteriormente, los ramos del n. maxilar y por último la ramificación nerviosa del n. mandibular. Se obtuvieron cuatro archivos STL en Blue Sky Plan, el primero fue el renderizado del cráneo. Los archivos restantes correspondieron a las estructuras tubulares (correspondientes a los nervios).

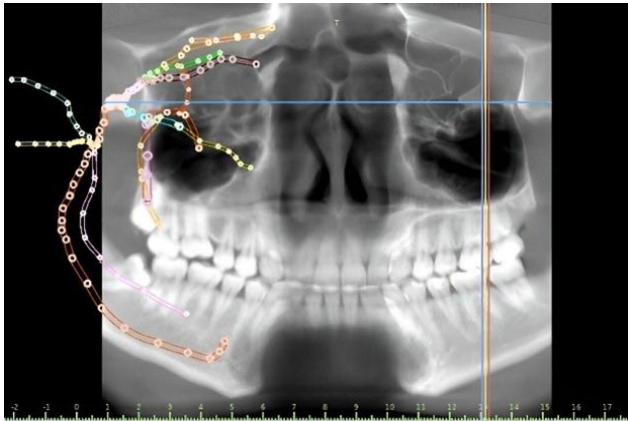


Fig. 1. Representación en software Blue Sky mostrando la configuración espacial de coordenadas aplicada al trayecto y ramificación del nervio trigémino.

La segunda etapa se trabajó en Blender, en donde una vez importados los archivos STL, se dispuso a la examinación, edición y diseño de las mallas. Se utilizaron distintas herramientas de diseño en diferentes modos, como en layout, en donde se utilizó la función metaball, para rellenar los espacios destruidos de la malla, luego, se les aplicó el remesh. En modelling, se añadieron objetos, como circunferencias, estas asemejaban los ganglios, esfenopalatino, ótico, submandibular, el ganglio trigeminal, se realizó en sculpting, utilizando funciones como grab y elastic deform.

Finalmente, se trabajó en sculpting, en donde se utilizaron funciones como draw, inflate, smooth, flatten, fill, scrape y pinch, todas estas con la finalidad de modificar, texturizar y mejorar la tipología de las mallas, tanto del cráneo como de los nervios. Se utilizó mask para eliminar partes que no eran relevantes en el diseño del prototipo y dyntopo para mejorar la topología de este. Adicionalmente, fue necesario emplear modificadores como remesh, que tiene

por función homogenizar el tamaño de los triángulos que componen las mallas del cráneo y de los nervios, facilitando así, cualquier operación que se realice. El modificador boolean, por su parte, se utilizó con el fin de obtener un sobre margen intra y extraóseo, de todo el recorrido de los nervios. A pesar de que se trabajó con base a las indentaciones óseas, originalmente observadas en la tomografía, fue necesario aumentar la precisión y profundidad de estos márgenes, así pues, obteniendo un recorrido de los nervios, más limpio y sin interferencias. Además, se empleó solidify, el propósito de este fue crear un espacio vacío interno de las estructuras tubulares, con el fin de crear corredores, los cuales, posteriormente, serían rellenados con resina fluida, de un color distintivo, por toda la extensión de los nervios, la cual sería fotopolimerizada. Por último, se realizó la hemisección digital del cráneo, para así poder observar, de una manera clara y sin estructuras que se interpongan, toda la extensión y ramificación del nervio. Esto se logró en el modo edición, utilizando la herramienta bisect. Se puede observar la vista frontal del diseño en Blender en la Figura 2.

La tercera etapa de la conversión se desarrolló en ChituBox (2024), en donde se definieron los límites del modelo en archivo STL, los cuales debían corresponder al tanque de resina, importante para su posterior impresión, se desarrolló un sistema de drenaje, el cual consistió en realizar

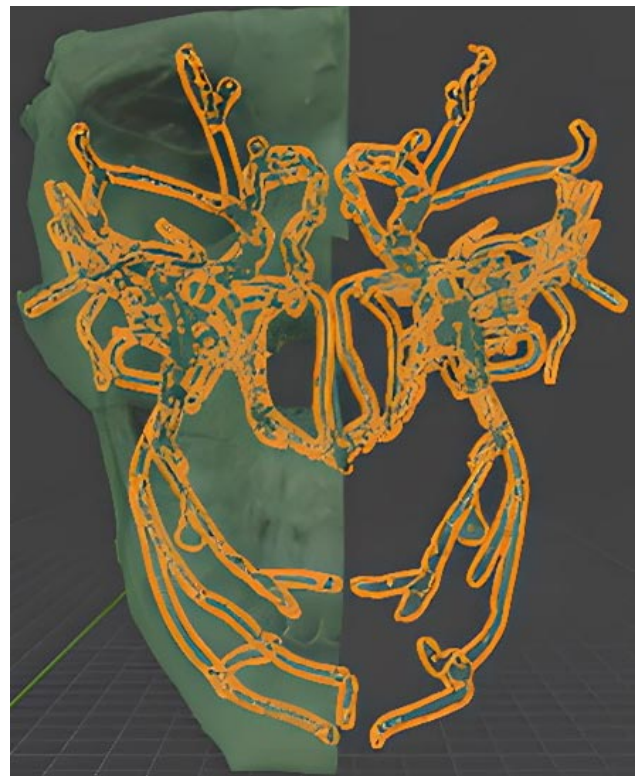


Fig. 2. Diseño de la ramificación nerviosa bilateral del nervio trigémino, realizado en Blender, visualizado desde una vista anterior.

agujeros (dig holes), estos ofrecían una vía de escape a la viruta residual de resina, mediante un lavado con alcohol, así evitando taponamientos, una vez se fotopolimerizara. Así mismo, se diseñaron los soportes, los cuales iban a sostener el modelo, una vez este estuviera en el proceso de impresión, la condición de estos consistía en no acercarse a la base del modelo que se iba a imprimir, si no que estuvieran mínimo a 0,3 mm de esta.

Materialización

Por último, se empleó la técnica de manufactura aditiva, se seleccionaron polímeros termoestables, esto permitió trabajar con la tecnología de resinas. Se utilizó la resina transparente de la marca Creality, fotosensible, para la elaboración del cráneo. Se trabajó en la impresora Elegoo Saturn, el volumen total de la impresión fue de 125 ml, el peso de modelo de 137 g, con un tiempo de impresión de 8 h y 27 min.

Una vez obtenido el modelo, se realizó un lavado que se completó de manera manual, utilizando un recipiente, alcohol, cepillos y pinceles. Además, se lavaron a presión internamente los conductos. Posteriormente, se recortaron los soportes.

Se realizó la mezcla entre resina estándar, líquida, de color blanco con colorantes fluorescentes color amarillo, obtenidos de resaltadores convencionales. En seguida, se utilizó una jeringa de 5 cm³, la cual se cargó con la resina, esta se inyectó a presión, por toda la extensión interna de los nervios, como se observa en la Figura 3. Se efectuó un proceso de curado en Anycubic cure, para terminar de polimerizar todas las porciones de resina faltante.

RESULTADOS

Se fabricó un prototipo anatómico 3D del V nervio craneal que asimila la anatomía real de este nervio, partiendo desde su origen aparente y su posterior ramificación. Mediante un sistema de contraste por color se logró realizar la diferencia entre el trayecto del nervio y el cráneo, para así facilitar al observador la identificación de éste.

El prototipo del nervio se dividió en tres ramas principales (Figs. 4 al 7), antes de dividirse, el nervio trigémino sale del ángulo pontocerebeloso, en el modelo se observa su relación a este nivel con la porción petrosa del hueso temporal, inmediatamente después de la emergencia de la raíz sensitiva, se forma el ganglio trigeminal, el cual anteriormente se relaciona con la fosa craneal media, subsiguientemente se divide en el nervio oftálmico, maxilar y mandibular.

El nervio oftálmico discurre anteriormente, a lo largo de la pared dural lateral del seno cavernoso para posteriormente dividirse en un ramo colateral y tres terminales. Así pues, entra a la órbita por la fisura orbitaria superior como nervio frontal, nasociliar y lagrimal, los cuales se distribuyen a diferentes niveles de la órbita.

La segunda división del nervio corresponde al nervio maxilar, el cual una vez sale del ganglio trigeminal, viaja de posterior a anterior por la fosa craneal media hasta penetrar por el foramen rotundo, el cual termina en la fosa

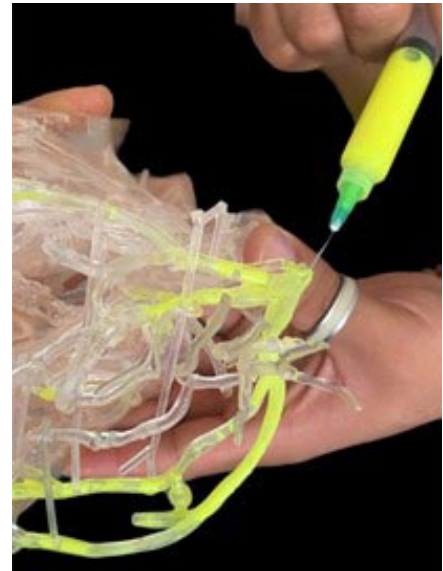


Fig. 3. Inyección de resina a presión a través de conductos que simulan la ramificación nerviosa, generando contraste visual.

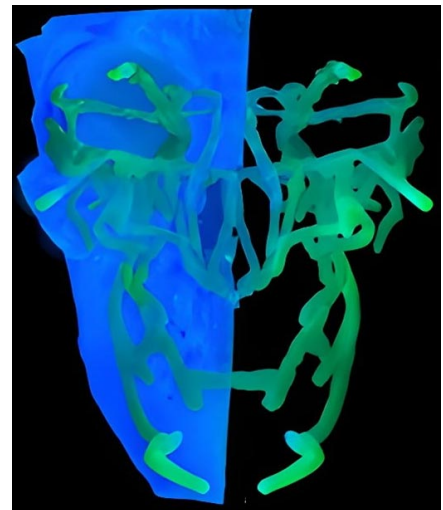


Fig. 4. Prototipo 3D impreso del nervio trigémino, vista anterior.

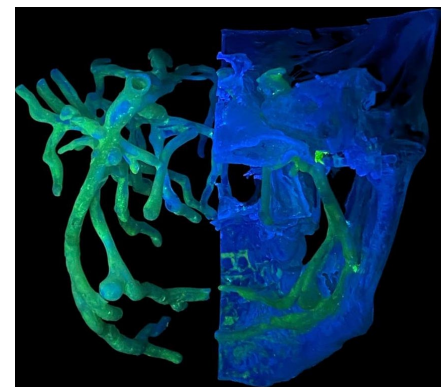


Fig. 5. Prototipo 3D impreso del nervio trigémino, vista posterior.

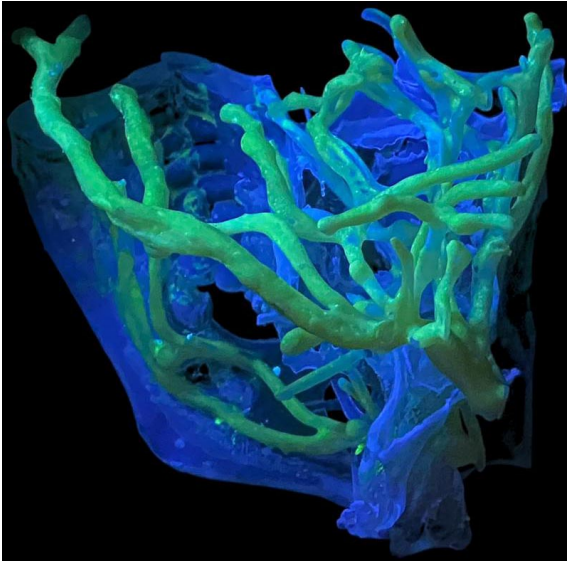


Fig. 6. Prototipo 3D impreso del nervio trigémino, vista lateral.

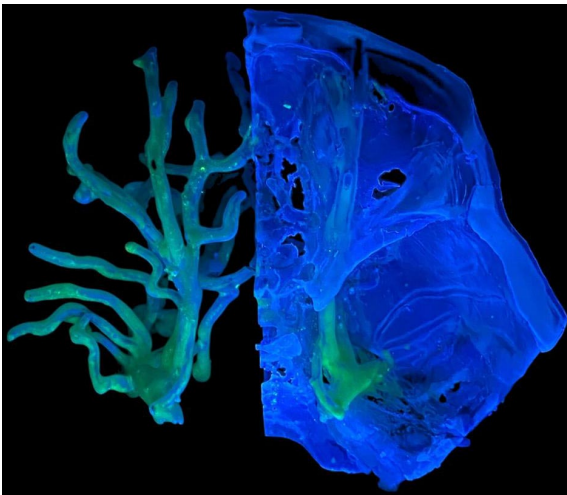


Fig. 7. Prototipo 3D impreso del nervio trigémino, vista superior.

pterigopalatina, en esta fosa está ubicado el ganglio esfenopalatino, del cual se desprenden varios ramos nerviosos, además este penetra en el foramen esfenopalatino, terminando en la cavidad nasal, igualmente, el nervio maxilar alcanza la órbita pasando por la fisura orbitaria inferior, una vez dentro de esta y convertido en nervio infraorbitario, genera los ramos alveolares superiores que conforman el plexo alveolar superior, el cual alcanza los dientes del maxilar, luego de esto sale de la órbita por el foramen infraorbitario.

Por último, el nervio mandibular que lo compone una gran raíz sensitiva y una pequeña motora que se unen, una vez emerge este nervio del ganglio trigeminal se encuentra por encima de la porción

petrosa del hueso temporal, atraviesa el foramen oval y termina en la fosa infra temporal. Una vez en esta fosa el nervio se divide en un tronco anterior y uno posterior. Sin embargo, antes de hacerlo, da cierta cantidad de ramos.

DISCUSIÓN

En un metaanálisis se analizó el efecto general de dos métodos de enseñanza en anatomía: la disección tradicional y otras formas de enseñanza en el laboratorio. En total, se incluyeron 4.435 personas que usaron la disección tradicional y 3.296 que utilizaron otros métodos. Al examinar los resultados de 27 estudios, no se encontró ninguna diferencia significativa en el aumento del conocimiento a corto plazo entre los estudiantes que utilizaron la disección tradicional y aquellos que emplearon otras formas de enseñanza en el laboratorio (standardized mean differences SMD=-0,03, [CI=-0,16, 0,10], $p=0,62$). Así pues, se evidenció que no existía predominancia entre el método de disección anatómica como tradicional, y métodos de laboratorio que incluyen proyección anatómica, medios digitales, modelos o modelado en 3D, enfoques híbridos (Wilson *et al.*, 2018).

Otro análisis cuantitativo fue llevado a cabo, en donde se evaluaron a 12 grupos. Se compararon los resultados de rendimiento de estudiantes que recibieron instrucción usando un modelo impreso en 3D con aquellos que recibieron métodos tradicionales sin dicho modelo. Para facilitar la comparación, las calificaciones se ajustaron a porcentajes. Se evaluaron a los grupos mediante cuestionarios y evaluaciones calificadas. Los estudiantes que utilizaron el modelo 3D lograron un promedio de $73,41 \pm 14,01$, mientras que los que no lo usaron obtuvieron $62,63 \pm 14,13$. Los resultados mostraron un efecto significativo y destacado ($g=0,771$, $p<0,001$) a favor de los grupos que emplearon el modelo 3D frente a aquellos que solo usaron imágenes 2D (Salazar *et al.*, 2022).

En un meta-análisis se realizó la comparación entre modelos impresos en 3D y modelos convencionales (imágenes 2D, materiales de cadáver, libros de texto, atlas y tomografía Axial Computarizada). Se realizó la confrontación entre modelos 3D y convencionales del sistema nervioso. El grupo experimental tuvo 198 personas y el grupo de control, 195. Los resultados mostraron una diferencia significativa entre ambos grupos (SMD: 1.27, IC 95 %: 0,82–1,72, $p < 0,001$, indicando que los puntajes en las pruebas fueron más altos en el grupo que usó el modelo 3D en comparación con el grupo de modelos convencionales. Además, se compararon modelos impresos en 3D con especímenes de cadáver en cuatro estudios, con 153 participantes en el grupo 3D y 149 en el grupo de cadáveres. Los resultados mostraron una diferencia significativa, con los puntajes del grupo 3D siendo más altos (SMD: 0,69, $p < 0,001$). Asimismo, en diez estudios se compararon modelos 3D con imágenes 2D, con 379 participantes en el grupo de modelos 3D y 378 en el grupo de imágenes 2D.

Los resultados también mostraron una diferencia significativa, con mejores puntajes en el grupo 3D (SMD: 1.05, $p < 0.001$). Por otro lado, se compararon modelos de corazón impresos en 3D con modelos convencionales. El grupo de impresión 3D tuvo 100 participantes y el grupo convencional, 102. Después de la instrucción, se usó una diferencia estandarizada de medias para combinar los resultados, ya que los estándares de puntuación variaban entre los estudios. Los resultados no mostraron una diferencia significativa entre los grupos (SMD: 0,37, $p = 0,24$; Fig. S1), indicando que los puntajes en las pruebas no fueron más altos en el grupo que usó modelos 3D en comparación con el grupo convencional (Ye *et al.*, 2020).

La combinación de la impresión 3D con tecnologías como la realidad aumentada (AR), la realidad mixta (MR) y la realidad virtual (VR) está adquiriendo un papel destacado en el campo de la cirugía, especialmente en la planificación preoperatoria, el apoyo intraoperatorio y la educación. Estas innovaciones han mostrado avances significativos en el tratamiento de cáncer de próstata y riñón, facilitando una mejor comprensión de la anatomía, la identificación de riesgos antes de la cirugía y mejorando tanto la planificación como la formación quirúrgica (Wellens *et al.*, 2019; Wake *et al.*, 2020). Universidades como la de Carolina del Norte y la de Toronto han reconocido la importancia de integrar órganos impresos en 3D en sus programas de simulación quirúrgica (Cornejo *et al.*, 2022). Así, el uso de modelos impresos en 3D en la educación representa el surgimiento de una nueva metodología de enseñanza.

Por otro lado, en un metaanálisis realizado, el cual tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la impresión en 3D en comparación con los métodos tradicionales en 2D en el ámbito de la educación anatómica. Se constató, que la impresión en 3D demostró ser superior a las imágenes en 2D en cuanto a la adquisición de conocimientos anatómicos (Fleming *et al.*, 2020).

CONCLUSIÓN

Este prototipo anatómico ofrece una representación detallada del complejo craneofacial y del trayecto del nervio trigémino, permitiendo una identificación precisa de la ubicación y las interrelaciones de las estructuras óseas relevantes. La incorporación de este modelo tridimensional impreso se proyecta como un recurso valioso para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje del nervio trigémino y para aclarar su relación con la base del cráneo y sus asociaciones anatomo-clínicas. Además de su uso en estudios anatómicos, este prototipo destaca por su importancia en diversas áreas del ámbito de la salud, donde la utilización de herramientas digitales resulta fundamental.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Este trabajo fue financiado por la Convocatoria Interna 1132 de la Vicerrectoría de Investigaciones. Además, extendemos nuestro agradecimiento a 3Dentalab por su apoyo en la fabricación del prototipo.

VELASCO-CEBALLOS, J. D.; OSORIO, S. & JAIME-LARA, J. Design and printing of a 3D prototype of the trigeminal nerve: An anatomical perspective. *Int. J. Morphol.*, 43(3):933-940, 2025.

SUMMARY: Understanding the anatomy of cranial nerves is crucial for students in the dental academic program, particularly since the trigeminal nerve serves as the foundation for most clinical procedures in this field. However, there are few models that fully illustrate the course of this cranial pair and its anatomical relationships in a comprehensible and easily acquirable manner. The aim of this work was to develop a three-dimensional printed anatomical model of the V cranial nerve, which allows for the observation of its course and respective relationships with the bony structure, while also providing students with the opportunity to differentiate between the branches of the trigeminal nerve and the skull. The research was divided into four phases, where first an empathy stage was conducted, establishing the theoretical-anatomical foundations of the project, based on theory. Subsequently, digitalization, conversion, and finally, materialization of the anatomical prototype was carried out. A 3D model was designed and printed representing the shape, location, and anatomical relationship of the trigeminal nerve with the craniofacial complex. The development of the three-dimensional printing model can contribute to the teaching-learning process of the V cranial nerve, its course, and relationships with different anatomical regions.

KEY WORDS: Trigeminal Nerve; Printing; Three-Dimensional; Models; Anatomic; Teaching; Learning.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbouHashem, Y.; Dayal, M.; Savanah, S. & Strkalj, G. The application of 3D printing in anatomy education. *Med. Educ. Online*, 20: 29847, 2015.
- Ávila, F. J. S.; De Rossi, E. M. & Martínez, T. M. Modelos anatómicos personalizados impresos en 3D como herramientas para el aprendizaje y la preparación de intervenciones. *Rev. Colomb. Enferm.*, 17(13):31-8, 2018.
- Aziz, M. A.; McKenzie, J. C.; Wilson, J. S.; Cowie, R. J.; Ayeni, S. A. & Dunn, B. K. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat. Rec.*, 269(1):20-32, 2002.
- Bathla, G. & Hegde, A. N. The trigeminal nerve: An illustrated review of its imaging anatomy and pathology. *Clin. Radiol.*, 68(2):203-13, 2013.
- BioDigital. *Interactive 3D Anatomy—Disease Platform*. Web Site, BioDigital, 2024. Disponible en: <https://www.biodigital.com/>
- Blueskyplan. *New Blue Sky Plan Version (4.7)*. Web Site, Blueskyplan, 2024. Disponible en: <https://www.blueskyplan.com/single-post/2020/01/22/new-blue-sky-plan-version-47-available-download-free-now>
- CHITUBOX SLA/DLP/LCD 3D Slicer Software. Web Site, Chitubox, 2024. Disponible en: <https://www.chitubox.com/en/article/whatsnew/chitubox-free/1.9.5>

- Cornejo, J.; Cornejo-Aguilar, J. A.; Vargas, M.; Helguero, C. G.; Milanezi de Andrade, R.; Torres-Montoya, S.; Asensio-Salazar, J.; Rivero Calle, A.; Martínez Santos, J.; Damon, A.; *et al.* Anatomical engineering and 3D printing for surgery and medical devices: international review and future exponential innovations. *BioMed Res. Int.*, 2022:6797745, 2022.
- Cui, J.; Chen, L.; Guan, X.; Ye, L.; Wang, H. & Liu, L. Surgical planning, three-dimensional model surgery and preshaped implants in treatment of bilateral craniomaxillofacial post-traumatic deformities. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 72(6):1138.e1-14, 2014.
- Fleming, C.; Sadaghiani, M. S.; Stellon, M. A. & Javan, R. Effectiveness of three-dimensionally printed models in anatomy education for medical students and resident physicians: systematic review and meta-analysis. *J. Am. Coll. Radiol.*, 17(10):1220-9, 2020.
- Blender. Web Site, Blender.Org, 2024. Disponible en: <https://www.blender.org/download/releases/4-1/>
- Freddi, T. A. L.; Ottaiano, A. C.; Lucio, L. L.; Corrêa, D. G. & Hygino da Cruz, L. C. The trigeminal nerve: anatomy and pathology. *Semin. Ultrasound CT MR*, 43(5):403-13, 2022.
- Igami, T.; Nakamura, Y.; Hirose, T.; Ebata, T.; Yokoyama, Y.; Sugawara, G.; Mizuno, T.; Mori, K. & Nagino, M. Application of a three-dimensional print of a liver in hepatectomy for small tumors invisible by intraoperative ultrasonography: Preliminary experience. *World J. Surg.*, 38(12):3163-6, 2014.
- Jin, Z.; Li, Y.; Yu, K.; Liu, L.; Fu, J.; Yao, X.; Zhang, A. & He, Y. 3D Printing of Physical Organ Models: Recent Developments and Challenges. *Adv. Sci. (Weinh.)*, 8(17):e2101394, 2021.
- Lara, J. J.; Cantillo, S. & López, J. A. *Modeling and Control of a Two Tank System Using Artificial Neural Networks*. Bogotá, 2019 IEEE Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence (ColCACI), 2019.
- Latarjet, M. & Ruiz-Liard, A. *Anatomía Humana*. 5ª ed. Buenos Aires, Médica Panamericana, 2019.
- McMenamin, P. G.; Quayle, M. R.; McHenry, C. R. & Adams, J. W. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat. Sci. Educ.*, 7(6):479-86, 2014.
- Moore, K. L.; Dalley, A. R. & Agur, A. M. R. *Anatomía con Orientación Clínica*. 8ª ed. Hoboken, Wolters Kluwer, 2018.
- Norton, N. S. & Willett, G. M. *Netter's Head and Neck Anatomy for Dentistry*. 4th ed. Amsterdam, Elsevier, 2024.
- Pettersson, A. B. V.; Salmi, M.; Vallittu, P.; Serlo, W.; Tuomi, J. & Mäkitie, A. A. Main clinical use of additive manufacturing (three-dimensional printing) in Finland restricted to the head and neck area in 2016-2017. *Scand. J. Surg.*, 109(2):166-73, 2020.
- Real Academia Española (RAE). *Anatomía*. Web Site. Diccionario de la lengua española. Real Academia Española, 2024. Disponible en: <https://dle.rae.es/anatomía>
- Rosell Puig, W. & Paneque Ramos, E. Evolución histórica de la enseñanza de la Anatomía en Cuba. *Educ. Med. Super.*, 21(3), 2007.
- Salazar, D.; Huff, T. J.; Cramer, J.; Wong, L.; Linke, G. & Zuniga, J. Use of a three-dimensional printed anatomical model for tumor management in a pediatric patient. *SAGE Open Med. Case Rep.*, 8:2050313X20927600, 2020.
- Salazar, D.; Thompson, M.; Rosen, A. & Zuniga, J. Using 3D printing to improve student education of complex anatomy: a systematic review and meta-analysis. *Med. Sci. Educ.*, 32(5):1209-18, 2022.
- Suárez-Escudero, J. C.; Posada-Jurado, M. C.; Bedoya-Muñoz, L. J.; Urbina-Sánchez, A. J.; Ferreira Morales, J. L. & Bohórquez-Gutiérrez, C. A. Enseñar y aprender anatomía: Modelos pedagógicos, historia, presente y tendencias. *Acta Med. Colomb.*, 45(4), 2020.
- Wake, N.; Nussbaum, J. E.; Elias, M. I.; Nikas, C. V. & Bjurlin, M. A. 3D printing, augmented reality, and virtual reality for the assessment and management of kidney and prostate cancer: a systematic review. *Urology*, 143:20-32, 2020.
- Wellens, L. M.; Meulstee, J.; van de Ven, C. P.; Terwisscha van Scheltinga, C. E. J.; Littooi, A. S.; van den Heuvel-Eibrink, M. M.; Fiocco, M.; Rios, A. C.; Maal, T. & Wijnen, M. H. W. A. Comparison of 3-dimensional and augmented reality kidney models with conventional imaging data in the preoperative assessment of children with wilms tumors. *JAMA Netw. Open*, 2(4):e192633, 2019.
- Wilson, A. B.; Miller, C. H.; Klein, B. A.; Taylor, M. A.; Goodwin, M.; Boyle, E. K.; Brown, K.; Hoppe, C. & Lazarus, M. A meta-analysis of anatomy laboratory pedagogies. *Clin. Anat.*, 31(1):122-33, 2018.
- Ye, Z.; Dun, A.; Jiang, H.; Nie, C.; Zhao, S.; Wang, T. & Zhai, J. The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: A systematic review and meta-analysis. *BMC Med. Educ.*, 20(1):335, 2020.
- Zuniga, J.; Katsavelis, D.; Peck, J.; Stollberg, J.; Petrykowski, M.; Carson, A. & Fernandez, C. Cyborg beast: A low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Res. Notes*, 8:10, 2015.

Dirección para correspondencia:

Juan David Velasco Ceballos
Programa de Odontología
Facultad de Salud
Universidad del Valle
Cali
COLOMBIA

E-mail: juan.david.velasco@correounivalle.edu.co